一图抵千言：多媒体学习中的自我生成绘图策略*

王燕青 王福兴 谢和平 陈佳雪 李文静 胡祥恩
（华中师范大学心理学院，武汉，430079）

摘　要　自我生成绘图是指学生使用可视化的学习方法绘制一幅能反映每一段文字中重要观点的图画，通过图文结合的方式来促进学习的一种策略。综述以往研究发现，先前研究通过操纵文本、动画等学习材料来考察自我生成绘图在学习中的作用，发现自我生成绘图的效果并不稳健：一方面它可以通过提高学生的认知和元认知能力、激发积极的情感状态而提高学习效果，得到了绘图建构生成理论和多媒体学习认知理论的支持；另一方面也可以通过增加认知负荷而阻碍学习，得到了认知负荷理论的支持。整体而言，自我生成绘图策略还是有利于学习的，已有研究在学习效果上的效应量中值为 $d_{保持}$ = 0.13, $d_{理解}$ = 0.46, $d_{迁移}$ = 0.38。未来的研究仍需要关注自我生成绘图策略的材料操纵、效果评定以及潜在变量等等。

关键词　自我生成绘图；绘图建构生成理论；多媒体学习认知理论；认知负荷理论；多媒体学习

设想这样一个场景：学生 A 和 B 同时学习一篇关于空调制冷原理的文本材料。学生 A 在阅读完每一段后，绘制一幅空调制冷过程的图画，通过图文整合的方式来进行学习，而学生 B 则采用其他非绘图的方法来加工文本材料，那么两者的学习效果会如何？其中，学生 A 所进行的活动即使用自我生成绘图的学习策略来辅助学习，如果自我生成绘图策略是有效的，那么学生 A 的后测成绩应该好于学生 B。已有大量的研究表明，在学习过程中绘制有关学习内容的图画是一种有效提高学习成绩的策略(Leutner & Schmeck, 2014)。因为当学习者进行绘图时，会运用自己的先验知识对学习材料进行选择、组织、整合，并将这些认知加工的过程，通过绘图实现外部可视化(Van Meter & Firetto, 2013)。在这一过程中学习者所进行的建构性思维操作和转换能促进对学习内容的理解。例如，Schwamborn, Mayer, Thillmann 和 Leopold(2010)要求学生学习一篇关于洗衣服过程中肥皂和水产生化学反应的文章，进行绘图的学习者需要在阅读文章后选择出主要的信息，经过组织整合形成丰富的图像表征，并画出一幅图画来表示每个段落的主要观点，而控制组的学习者仅仅阅读文本内容。结果发现，绘图组的成绩(保持测验，迁移测验)均高于文本阅读组。虽然该研究结果支持绘图策略对学习成绩的促进作用，然而也有研究得出了不同的结论(Leutner, Leopold, & Sumfleth, 2009; Ploetzner & Fillisch, 2017)，不一致结果产生的可能原因有很多，比如，是否为绘图提供支持(背景图、提供现成的图画)、绘图质量、学习者的先验知识水平等。因此，本文结合以往的实证研究，在阐述自我生成绘图策略的概念及实验操纵的基础上，整理了建构绘图促进或阻碍学习的理论基础，探讨了学习者进行绘图活动对学习效果产生的影响，并详细分析了不一致结果的可能原因，以期为自我生成绘图策略在教育实践中更好的应用提供借鉴。

1 什么是自我生成绘图？

自我生成绘图(self-generated drawing)是一种要求学生在阅读无图片的文本时，使用可视化的方法画一幅能反映每一段文字中重要观点的图画，通过图的方式来表示文本中的主要观点和观点之间关系的目标性学习策略(Van Meter & Garner, 2005)，即“学习内容的外部可视化”。在这一过程中学习者不再是信息被动的接受者，而成为了一个积极主动加工的个体。自我生成绘图有两个主要特点：一是图画表征，即所绘制的图画必须是学习内容在现实世界的真实属性(比如，文本材料中提到闪电，

收稿日期：2018-06-19
*国家自然科学基金面上项目（#31771236），贵州省教育改革发展研究重大课题(#2017ZD005)和华中师范大学优博培育项目(2018YBZZ093)资助。
通讯作者：王福兴, E-mail: fxwang@mail.ccnu.edu.cn;　胡祥恩, E-mail: xiangenhu@mail.ccnu.edu.cn

学习者需要画出闪电的形状)以及它们之间的空间关系(Van Meter & Firetto, 2013)；二是自我生成，即图片由学习者亲自绘制而成，而非由他人提供(Van Meter & Garner, 2005)。自我生成绘图不同于思维导图和流程图等，因为自我生成绘图要求学生进行一些建构性的活动，比如将文本信息转化为生动的图像信息，这一过程涉及到促进图式构建积极的认知和元认知加工，帮助学习者通过图文整合的方式促进对知识的掌握(Van Meter & Garner, 2005)，这是思维导图和流程图等不具有的特征。

自我生成绘图策略效果的研究主要是对绘图组和对照组进行不同的方法操纵。其中对绘图组的操纵是要求学习者在阅读完文本材料后构建相应的图画(纯绘图组)。例如, Gobert 和 Clement (1999)要求学生学习板块构造的相关知识，绘图组的学习者需要画出一幅图画来描述他们在文本材料中习得的内容。也有研究先给学生提供一个脚手架再让其进行绘图。例如，Lesgold, Levin, Shimron 和 Guttman(1975)给出背景图和剪贴画来辅助学生的绘图；Lee(2017)先让学习者找出文本材料中的关键词再进行绘图等。但对照组的操纵并非如此，对照组的学习者需要学习专家绘制好的图画(Schwamborn, Thillmann, Opfermann, & Leutner, 2011)、或者对文本内容进行口头总结(Leopold & Leutner, 2012)、想象(Leutner et al., 2009)和重复阅读(Lin et al., 2017)等。

目前，对自我生成绘图的概念界定和操纵方法仍然存在很多争议。比如，Van Meter 和 Garner(2005) 将自我生成绘图的概念界定为"在阅读无图片的文本时，使用可视化的方法画一幅能反映每一段文字中重要观点的图画"。然而，有部分研究使用动画作为学习材料，让学习者根据动态的内容绘制图画，从而扩展了自我生成绘图应用的范围(Mason, Lowe, & Tornatora, 2013; Ploetzner & Fillisch, 2017)。另外，大量研究并没有对自我生成绘图进行严格的操纵，比如，绘图组的学习者只是根据学习材料绘制相应的图画(Leopold, Sumfleth, & Leutner, 2013; Scheiter, Schleinschok, & Ainsworth, 2017)，然而在绘图过程中所用的绘图时间、学习者的绘图技能、实验材料的难度等却没有考虑在内，而这些因素在一定程度上可能会影响绘图的效果，这也许是目前不同操纵条件下学习效果不一致的重要原因。因此，在对自我生成绘图进行操纵时，应尽量排除额外变量(如：学习时间、材料难度)的干扰，这样才能更好地比较绘图组与非绘图组在学习效果和主观体验上的差异。

2 自我生成绘图的理论基础

针对自我生成绘图策略对学习效果的影响，研究者们持有不同的观点，那么其背后的理论机制是什么呢？本研究结合以往的理论和实践，主要从自我生成绘图的促进说和阻碍说两大方面展开论述。

2.1 自我生成绘图促进说

绘图建构生成理论(generative theory of drawing construction, GTDC)强调学习者在建构与学习内容相对应图片的过程中，会产生包含选择、组织和整合材料的认知活动，也会激活自我监控和调节策略等元认知活动，进而促进对文本内容更深入的理解(Van Meter & Garner, 2005)。绘图建构的过程有助于更深层次的理解，是因为相关概念被"整合到一个复杂的因果链中，建立了一个丰富的心理模型" (Gobert & Clement, 1999)。这一过程主要包括积极的认知和元认知加工。其中，最基本的是认知加工的三个过程：一是选择，学习者要在被提供的文本中选择出相关的关键因素；二是组织，学习者把所选择的信息进行组织，建构一个内部的言语表征和视觉（非言语）表征；三是整合，把言语表征和非言语表征以及先验知识整合在一起(Mayer, 1993)。元认知加工主要强调学习者的自我监控能力，学习者在建构这样一个图画表征的过程中可能会遇到各种各样的问题，因此，他们不得不再检查已经描绘的表征，甚至是原始的文本内容来获得更多额外信息，不断地完善自己建构的图画。这个过程并非线性的，而是反复的过程，因此提高了学生的自我监控能力，帮助他们发现理解上的错误，提高绘图的准确性，进而促进学习(见图 1)。虽然目前没有研究对认知加工过程进行直接的测量，但

是部分实证表明自我生成绘图能提高学生的元认知加工进而促进学习 (Lesgold et al., 1975; Van Meter, 2001)，支持 GTDC。

根据多媒体学习认知理论(cognitive theory of multimedia learning, CTML)，人类加工信息运用两种不同的通道，一种是基于视觉表征的通道，一种是基于言语表征的通道(Mayer, 2009)。有大量的研究已经表明，学习设计良好的多媒体材料(包括文本和图片)要比学习仅仅呈现文本内容的效果更好，如果图片中包含文本中所描述概念的空间关系，那么学生就能够更好地理解文章所表达的意思(Carney & Levin, 2002; Imhof, Scheiter, Edelmann, & Gerjets, 2012)。所以，当在学习说明性文章的时候，如果没有提供相关的图片表征，那么需要学习者自己生成和建构相应的图片，通过图文结合的方式进行学习，从而提高他们的学习兴趣，激发学习动机，促进对学习材料的理解。CTML 也得到了部分研究的支持 (Leopold & Leutner, 2012; Schmidgall, Eitel, & Scheiter, in press)。

综上两种自我生成绘图的促进观点来看，GTDC 强调学习者的"自我生成"，即学习者自身积极主动加工的过程，而 CTML 的关注点是"绘图"，即图文结合的学习方式，两者相辅相成，都有利于学习者对学习材料的识记和保持。这也是目前研究者同时采用两种理论来解释自我生成绘图的原因(Lin et al., 2017)。然而，回顾以往的研究不难发现，自我生成绘图的效果只得到了部分实证研究的支持，对于那些自我生成绘图组和对照组在学习结果上没有差异，甚至要低于非绘图组的研究结果，均不符合 GTDC 和 CTML 的假设。未来的理论性研究应该把研究的重点放在绘图建构生成理论或多媒体学习认知理论对自我生成绘图策略的解释力上。

2.2 自我生成绘图阻碍说

在学习的过程中，自我生成绘图在一定程度上可以提高学习者对文本的理解，然而这一可视化策略也对学习者的认知负荷提出了更高的要求。根据认知负荷理论(cognitive load theory, CLT)，个体在信息加工的过程中承载着三种类型的认知负荷：内在认知负荷(intrinsic cognitive load, ICL)、外在认知负荷(extraneous cognitive load, ECL)和相关认知负荷(germane cognitive load, GCL) (Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011; Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998)。ICL 与材料本身的复杂性有关；ECL 针对的是额外的认知需求；GCL 反应的是学习本身的认知加工。从认知负荷的角度来看，在学习的过程中使用可视化的绘图策略在一定程度上会增加 ECL，因为学生需要将言语信息转化成图片信息，还要通过机械的绘图来画出相应的内容，这一过程需要消耗大量的认知资源，减少用于加工关键信息和建构心理模型所必需的认知资源，从而阻碍学习。不过基于 CLT 假设只得到了部分研究结果的支持。例如，Leutner 等(2009)发现让学生进行绘图操作显著增加了 ECL，阻碍了学习。Schwamborn 等(2011)发现绘图组学生的心理努力程度高于控制组，学习效果也更差。

CLT 理论对自我生成绘图阻碍作用的解释只得到了较少研究的支持，可能存在的原因是：第一，忽略了自我生成绘图对 GCL 的影响。自我生成绘图是在没有图片的文本情况下产生的，它能促进学习者通过积极地加工把文本信息转化成图片表征，可能会增加 GCL，促进更深的理解。所以，到底是哪种认知负荷在自我生成绘图对学习效果的影响中起到更为关键的作用？是因为绘图操作而增加了 ECL？还是自我生成过程而增加 GCL？还是 ECL、GCL 的共同增加？GCL 的增加对学习的有利作用能不能弥补 ECL 的增加对学习的阻碍作用？这些问题都有待于进一步的考察。需要注意的是，目前关于对自我生成绘图与 GCL 之间关系的探讨还只是研究者们的推测(Leutner et al., 2009)，未来可以用更多的实证研究加以验证。第二，认知负荷本身就是个动态变化的过程，受很多因素的影响，比如，材料特征、学习者特征、环境因素等，所以在绘图的过程中，到底哪些因素导致了认知负荷的产生还没有定论。因此，能不能确定是绘图操作导致认知负荷的增加？还需谨慎解释。第三，认知负荷本身就存在较大的争议。目前研究者们通常使用心理努力和感知难度作为测量认知负荷的指标，但是究竟心理努力是属于 ECL 还是 GCL，并没有明确的标准(Xie et al., 2017)。 所以，学生在

自我生成绘图过程中产生的心理努力，是有利于学习还是阻碍学习还没有定论。以上争议在一定程度上限制了对自我生成绘图、认知负荷与学习结果之间关系的探讨。

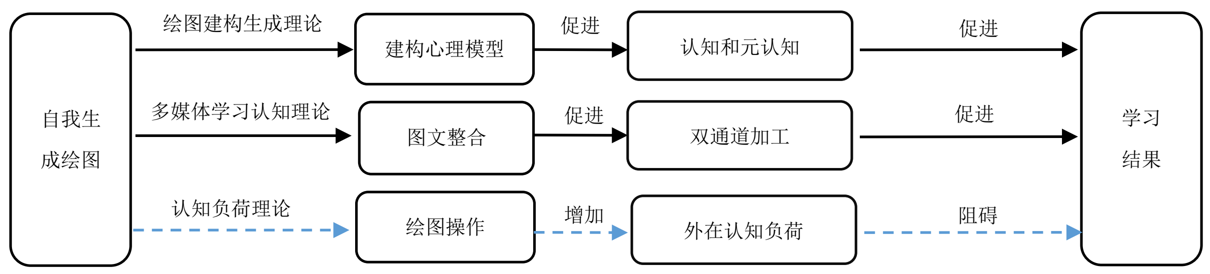


图1 基于绘图建构生成理论、多媒体学习认知理论、认知负荷理论的自我生成绘图的学习加工过程

对于自我生成绘图的促进与阻碍说，两者之间的不同就在于，自我生成绘图到底是通过激励学习者积极主动地运用认知和元认知策略加工文本内容，从而促进了对知识的理解？还是由于在绘图过程中把注意力转移到机械作图的过程中而导致外在认知负荷过重阻碍了对关键知识的获得？综合以往对自我生成绘图策略的研究，这两种假说都得到了不同程度的支持。然而两者在自我生成绘图对学习效果没有差异的现象上，都不能给出很好的解释。此外，很多的研究既不能精确地指出自我生成绘图是如何影响认知和元认知过程，也没有直接测量认知和元认知水平以及认知负荷与学习结果之间的关系，而只是间接地推测自我生成绘图是通过增加学习者的认知和元认知加工来促进学习，或者是通过增加 ECL 而阻碍学习(Schmidgall et al., 2018)。因此，未来的研究应该直接测验认知、元认知、认知负荷等与学习效果之间的关系，来确定是否自我生成绘图是因为学习者的认知和元认知能力的提高或者 ECL 的降低来对学习效果起作用的。

3 自我生成绘图促进还是阻碍学习？——来自实证研究的证据

自我生成绘图的关键是将言语模型系统地转化为非言语模型，这个转换的过程会提高学生对学习内容的理解和加工。然而自我生成绘图对学习效果影响的研究结果并不一致。综合以往的文献发现，研究者们主要从三个方面来考察自我生成绘图对学习效果的影响，分别是：保持测验、理解测验和迁移测验。为了在一定程度上定量的描述“自我生成绘图策略与学习效果的关系”，本文尽可能地统计了相关实证研究的效应量 Cohen’s *d* 值(具体见表 1)，并计算出效应量中值(median effect size)。汇总文献的标准如下：(1)研究须为实证；(2)文章主要是对比自我生成绘图组与非绘图组(阅读、想象、总结、解释等)的差异；(3)因变量应为学习效果或者主观体验(认知负荷、自我监控等)。

保持测验通常是考察学习者对学习内容的识记效果(Mayer, 2009)。有部分研究表明自我生成绘图能促进学习者对学习材料的掌握(Bock, Verschaffel, & Janssens, 1998; Balemans, Kooloos, Donders, & Van der Zee, 2016; Liao, Lee, & Chan, 2013; Wammes, Meade, & Fernandes, 2016)。例如，Mason等人(2013)在动画环境下检验自我生成绘图的效果，发现相比于复制图片组和阅读组，绘图组的学习者能更多地描述出动画中的内容。但是，另外一些研究结果没有支持自我生成绘图在保持测验上的积极效果(Zhang & Linn, 2013; Stull & Mayer, 2007)。例如，Van Meter等人(2006)发现，自我生成绘图组和控制组在再认测验成绩上没有显著差异。Ploetzner和Fillisch(2017)的研究发现对动画内容进行想象的学生在保持测验上成绩要好于自我生成绘图组，学生绘图的活动阻碍了他们对学习内容的识记。从表1汇总的45项实验来看，在包含保持测验的34项实验结果中，有18项研究结果显示自我生成绘图能提高学生在保持测验上的成绩，有12项研究并没有发现其在保持测验上的积极的促进作用，有4项发现自我生成绘图干扰了学生在保持测验上的学习效果。本文计算得出，自我生成绘图

策略在保持测验上产生的效应量中值(median effect size)为d = 0.13。

理解测验主要是检验学习者对学习材料中重要概念的理解效果(Schmeck, Mayer, Opfermann, Pfeiffer, & Leutner, 2014)。一些研究发现，自我生成绘图能使学生对学习内容产生深层次理解(Hall, Bailey, Tillman, 1997; Lin et al., 2017)。例如, Gan (2008)的研究发现，绘图在帮助四年级的学生理解“光”及其相关现象上发挥了重要的作用。但也有研究未发现自我生成绘图对理解测验成绩的促进作用。例如, Leopold和Leutner(2012)在实验二中的研究结果证明，自我生成绘图组和总结组以及控制组在理解测验上没有差异。Leutner等人(2009)发现绘图策略与想象策略相比，对学习者理解测验有显著的负效应。表1的汇总结果显示，在9项包含理解测验的实验中, 7项研究的结果证明自我生成绘图能提高学生的理解成绩, 1项研究没有发现自我生成绘图与其他学习策略的差异，有1项研究发现自我生成绘图阻碍了学生对材料的理解。通过计算自我生成绘图策略在理解测验上的效应量，发现产生的效应量中值为d = 0.46。

迁移测验一般考察学生将所学知识运用到新情景中的能力(Mayer, 2009)。研究者们假设认为，迁移问题可能要求学习者在更大程度上理解学习内容的空间表征，而自我生成绘图组的学习者在绘图的过程中对学习内容的空间关系有更清晰的了解，能够实现知识的迁移。部分研究结果发现绘图组学生的问题解决能力要好于控制组(Hall et al., 1997; Van Meter, Meade, & Fernandes, 2006; Schmidgall et al., 2018)。然而，也有研究发现自我生成绘图与其他学习策略(想象策略、总结策略)相比，在迁移测验上并没有表现出优势。例如，Scheiter 等人(2017)的研究发现，学习者在自我生成绘图组和自我解释组的迁移测验成绩上没有差异。除此之外，Schwamborn 等人(2011)的研究表明自我生成绘图不但没有提高学习者的知识迁移能力，与提供图片组相比，在一定程度上还起到了阻碍学习的作用。从表 1 的汇总结果可知, 17 项包含迁移测验的结果中，有 10 项发现自我生成绘图提高了学习者的问题解决能力，而 6 项研究没有发现自我生成绘图策略与其他学习策略在迁移测验上存在差异，有 1 项研究结果显示自我生成绘图对迁移测验有负效应。通过计算得到自我生成绘图策略在迁移测验上产生的效应量中值为 d = 0.38。

从以上的分析结果不难看出，无论是保持测验、理解测验还是迁移测验，自我生成绘图策略的应用均产生了不一致的结果，一方面学习者可以通过积极主动的建构与学习内容相关的心理模型，在这一过程中学习者需对学习材料进行选择、组织和整合，并对自己建构的心理模型不断的监察和修正，最后通过图的方式展现出来，进而辅助自己的学习，得到了绘图建构生成理论和多媒体学习认知理论的支持；但是另一方面，学习者在进行绘图的过程中，由于要把相应的认知资源分配到机械的绘图操作上，导致用于学习相关知识的认知资源减少，进而阻碍了学习，得到了认知负荷理论的支持。但是在两者没有差异的结果上，无论是自我生成绘图的促进说或是阻碍说，均不能给出合理的解释，还需要未来的研究者们继续探索。

自我生成绘图策略的稳健性受到很多研究者的质疑，之所以出现这种不一致的结果，原因可能是：第一，是否为绘图提供支持条件可能会产生不同的学习结果。部分研究结果显示，给出绘图的背景(Lesgold et al., 1975)、提供现成的图片进行比较(Van Meter, 2001)、先列出关键词再进行绘图(Lee, 2017)的学习者在后测成绩上要好于没有提供支持的学习者。第二，多媒体学习是一个复杂的过程，学习者生成绘图并不是影响这一过程的唯一因素。学习者的先验知识水平(Slominski, Momsen, & Montplaisir, 2017)，绘图质量(即绘图的准确性)(Rellensmann, Schukajlow, & Leopold, 2016)，绘图的时间等(Schwamborn et al., 2011)均可能影响学习效果。比如，Leutner 等(2009)发现学习者生成绘图阻碍了对学习领域具有高知识经验学生的理解，对于低知识经验者，外部的绘图活动为他们的学习提供了支架，从而提高了学习成绩 (Zhang & Linn, 2013); Greene(1989)发现在绘图过程中产生高质量图画的学生，其后测中的得分往往比在阅读过程中制作低质量图画的学生要高；Schmeck 等(2014)的研

究结果显示当把学习时间作为一个协变量时，绘图组和控制组在理解力后测分数上将不再显著。甚至有研究者认为，用于评估学习结果措施的差异都有可能是导致过去研究不一致的原因之一，绘图建构的优点更有可能在评估与学习内容有关的高级的知识测验中得到体现，例如迁移测验和问题解决测验(Alesandrini, 1981; Van Essen & Hamaker, 1990)，而不是在文本信息的识别再认等简单的测验上(Van Meter et al., 2006)。Van Meter 等人认为这些论断的理论依据是知识表征理论，这个理论强调自我生成绘图是一个精心建构心理表征的过程，在这个过程中需要学习者把当前知识和先验经验进行整合，然后进行精细的推理和灵活的加工，而不是对文本简单的存储，所以不同程度的知识测验形式可能会影响学习结果。通过计算保持测验和迁移测验的效应量中值也可发现，$d_{迁移} = 0.38$ 大于 $d_{保持} = 0.13$。最后，实验材料的性质也会影响绘图的效果。目前自我生成绘图策略的相关研究大多数采用的是不包含图片的文本材料(Schleinschok et al., 2017)，并且结果倾向于支持自我生成绘图的效果。然而，有研究采用比较复杂的四冲程引擎动画作为实验材料，结果却发现自我生成绘图并不影响学生的成绩(Ploetzner & Fillisch, 2017)。另外，采用不同难度的动画作为实验材料也发现不同的结果，比如，Mason 等(2013)使用了相对较简单的五球摆动的动画材料，结果支持了绘图对学习的促进作用。关注这些潜在的边界条件(Mayer, 2010)，可能会为探究自我生成绘图策略与学习结果之间的不稳健性提供帮助。

表 1 自我生成绘图对学习效果和内在感知的影响(效应量 Cohen's *d* 值)

研究	样本量	实验操纵	实验材料	内在感知	学习效果 *d* 值
Alesandrini, 1981	383	绘图 vs 释义	电池中电化学的概念	/	U^*=0.279
Balemans et al., 2016	762	绘图 vs 阅读	人体组织结构	/	R^*(#)
Cs kos et al., 2011	244	绘图 vs 阅读	算术	B^*(—)	R(-0.049)
De Bock et al., 1998, Exp. 2	222	绘图 vs 提供图画 vs 阅读	数学单词问题	/	R^*(#)
Dean & Kulhavey, 1981, Exp. 1	40	绘图 vs 阅读	想象的非洲部落	/	R^*(1.08) T^*(1.097)
Edens & Potter, 2003	184	绘图 vs 复制提供的图 vs 写作	能量守恒定律	/	R(—) C^*(—)
Gobert & Clement, 1999	58	绘图 vs 总结 vs 阅读	板块构造论	/	R^*(0.738) T^*(0.714)
Hall et al., 1997	92	绘图 vs 提供图画 vs 阅读	手动气泵的工作	/	C^*(0.464)
Lin et al., 2017	60	绘图 vs 想象 vs 阅读	人类心血管系统	CL(—)	C^*(0.461)
Lee, 2017	339	阅读 vs 列关键词 vs 绘图 vs(列关键词+绘图)	人体骨骼肌系统	/	R^*(0.066)
Leopold et al., 2013	71	绘图 vs 总结 vs 提供图画 vs 提供总结	水分子及其化学键	/	C^*(0.245) T(0.053)
Leopold & Leutner, 2012, Exp. 1	90	绘图 vs 观点选择 vs(绘图+观点选择)vs 阅读	水分子	/	C^*(0.61) T^*(0.808)
Leopold & Leutner, 2012, Exp. 2	71	绘图 vs 总结 vs (绘图+总结)vs 阅读	水分子	/	C(0.277) T^*(0.817)
Lesgold et al., 1975, Exp. 1	24	绘图 vs 阅读	散文	/	$R^{\&}$(-0.98)
Lesgold et al., 1975, Exp. 2	72	绘图（提供支持）vs 阅读	同上	/	R^*(0.129)
Lesgold, De Good, & Levin, 1977	32	绘图 vs 阅读	故事	/	R^*(#)
Leutner et al., 2009	111	绘图 vs 想象 vs(绘图+想象)vs 阅读	水分子的双极特性	CL^*(0.72)	$C^{\&}$(-0.37)
Mason et al., 2013	199	绘图 vs 复制图画 vs 观看	五球摆动的动画	/	R^*(0.418)
Ploetzner & Fillisch, 2017	52	绘图 vs 想象	四冲程引擎动画	/	$R^{\&}$(-0.164)
Scheiter et al., 2017	74	绘图 vs 解释	介绍化学导论的说明文	/	R(0. 414) T(0. 211)
Schleinschok et al., 2017, Exp. 1	73	绘图 vs 阅读	关于极光的天文现象	CL(-0.35) JOL*(—)	R(0.063)
Schleinschok et al., 2017, Exp. 2	69	绘图 vs 阅读	同上	CL(-0.066) JOL*(—)	R(-0.143)
Schmeck et al., 2014, Exp. 1	48	绘图 vs 阅读	流感的生物知识	ME^*(0.766)、PD(-0.124)	C^*(0.85)
Schmeck et al., 2014, Exp. 2	168	绘图 vs 提供图画 vs(绘图+提供图画)vs 阅读	同上	ME(-0.584)、PD(-0.779)	C^*(0.5)

Schwamborn et al., 2011	102	绘图 vs 提供图画 vs(绘图+提供图画)vs 阅读	肥皂和水的化学反应	ME*(0.333)	R$^{\&}$(-0.169) T$^{\&}$(0)
Schwamborn et al., 2010	196	绘图 vs(绘图+选择)vs(绘图+组织/整合)vs(绘图+选择+组织/整合)vs 阅读	肥皂和水的化学反应	/	R*(0.87) T*(0.91)
Schmidgall et al., 2018, Exp. 1	121	绘图 vs 总结 vs 提供图画 vs 阅读	人类游泳行为的生物力学研究	/	R (0.002) T*(0.174)
Schmidgall et al., 2018, Exp. 2	223	绘图 vs 想象 vs 观看	同上	PD*(0.643)	R$^{\&}$ (-0.458) T (-0.081.)
Snowman & Cunningham, 1975	63	绘图 vs 问题 vs(问题+绘图)vs 阅读	描述一个虚构的部落	/	R(一)
Stagg & Verde , 2018	41	绘图 vs 总结	植物物种	L*	R(0. 009)
Van Essen & Hamaker, 1990, Exp.1	53	绘图 vs 阅读	算术词问题	/	R(−0. 047) T(−0. 439)
Van Essen & Hamaker, 1990, Exp.2	50	绘图 vs 阅读	算术词问题	/	R*(0.774) T*(0.67)
Van Meter et al., 2006	135	绘图 vs 提供图画 vs 提供问题 vs 阅读	关于鸟的翅膀的文章	/	R(0.043) T*(0.234)
Van Meter, 2001	100	绘图 vs 提供图画 vs 提供问题 vs 阅读	中枢神经	S-M*(一)	R*(0.337)
Wammes et al., 2016, Exp. 1	55	绘图（仔细）vs 写作（重复）	单词	/	R*(1.23)
Wammes et al., 2016, Exp. 2	49	绘图（重复）vs 写作（仔细）	同上	/	R*(1.3)
Wammes et al., 2016, Exp. 3	47	绘图 vs 关键词 vs 写作	同上	/	R*(0.86)
Wammes et al., 2016, Exp. 4	28	绘图 vs 想象 vs 写作	同上	/	R*(0.87)
Wammes et al., 2016, Exp. 5	37	绘图 vs 提供图画 vs 写作	同上	/	R*(0.67)
Wammes et al., 2016, Exp. 6	28	绘图 vs 写作（更长的学习列表,更短的编码时间）	同上	/	R*(2.27)
Wammes et al., 2016, Exp. 7	47	纯绘图 vs 纯写作	同上	/	R*(1.63)
Zhang & Linn, 2013, Exp. 1	110	绘图 vs 简单选择	化学反应	S-M*(一)	R(-0.139) T*(0.668)
Zhang & Linn, 2013, Exp. 2	172	绘图 vs 复杂选择	化学反应	S-M(一)	R(-0.107) T(-0.256)
Zhang & Linn, 2011	133	绘图 vs 观看	电池汽车氢气燃烧的过程	/	T*(0.516)
Zhang, 2010	73	绘图 vs 评论	氢气燃烧过程中分子的相互作用	/	T(一)

注：R 指保持测验; C 指理解测验; T 指迁移测验; U 指联合测验(保持、理解、迁移总分); CL 指认知负荷; ME 指心理努力; PD 指感知难度; L 指偏爱程度; B 指学习信念; S-M 指自我监控; JOL 指学习判断; #指该研究测量的是回答正确的百分比；一表示研究中数值未报告或缺失; /表示研究中未测量的值; *指自我生成绘图策略的效果要好于其他对照组; $^{\&}$表示自我生成绘图策略相比于其他学习策略阻碍了学习; ()中的数字表示自我生成绘图组和对照组相比效应量 *d* 值, *d* 值表示自变量作用的大小，*d* 值越大表示绘图组相较于非绘图组对学习效果的影响越大。

4 自我生成绘图是否影响主观体验？

自我生成绘图，作为一种艺术化的学习方式，需要学生自己积极主动地对知识进行外部的建构，在一定程度上对学习效果产生了促进作用。但是当学生运用这一策略时会产生怎样的主观体验（认知负荷、情感状态、动机水平、自我监控）？这也是以往研究的一个关注点。

自我生成绘图策略的目的就是通过让学习者自己绘制表示文本内容的图画，进行积极主动的加工，从而提高学习成绩。然而有研究表明自我生成绘图可能会通过增加认知负荷而阻碍学习(Leutner et al., 2009)。因为学习者在根据文本内容进行绘图时，需要在文本和图片之间来回切换，以便于搜索可以在图片中进行可视化的关键信息。然而，这种在文本和图片之间的反复转换需要消耗额外的认知资源，导致用于知识加工的认知资源减少，从而产生阻碍学习的负面效果。综合以往的研究可以发现，在涉及自我生成绘图对认知负荷测量的 7 项研究中，有 4 项发现自我生成绘图增加了学习者的认知负荷(Schmidgall et al., in press; Schmeck et al., 2014) (见表 1) ，但是由于目前对认知负荷测量的研究数量较少，所以，自我生成绘图在认知负荷上产生效果的稳定性还需要不断检验。

学生的情感状态对学生学习成功是至关重要的，当学生处于一种积极的情感状态时，就能激发他们的学习动机，使他们在学习中投入更多的时间和精力(Bransford, Brown, & Cocking, 2000)。但是，目前仅有 2 篇实证研究对自我生成绘图过程中学生产生的情感状态进行测量，1 项研究发现自我生成绘图能提高学生的学习信念，使学习者更喜欢使用绘图策略并相信绘图能帮助他们更好的解决问题(Cs ̇kos et al., 2011)；另 1 项研究发现，绘图组的学习者更愿意对所学习的内容进行绘图，而不是书面总结，这可能是因为在绘图的过程中学生会产生愉快的心情，进而提高学生的学习兴趣以及进一步学习的热情，从而在学习的过程中投入更多的认知资源(Stagg & Verde, 2018)。许多研究者提议自我生成绘图应该得到重视，因为它能积极地影响学习者的情感过程，提高学习动机(Ainsworth, Prain, & Tytler, 2011)，增加学习参与度(Quillin & Thomas, 2015)。值得提醒的是，学习动机在学生的学习过程中起着十分重要的作用，然而关于自我生成绘图与学习动机之间的关系，还仅仅停留在理论探讨的阶段，更多的实证研究需要加强对自我生成绘图如何影响学习动机进而影响学习效果的关注。

元认知监控是指学习者在认知加工的过程中根据学习目标评估自己学习状态的能力(Bjork, Dunlosky, & Kornell, 2013)。学习者在生成绘图的过程中，通过积极的选择、组织和整合信息，提高自我监控能力，发现内部表征与外部描述之间的不一致，从而增加错误检测与修复的次数，促进对学习内容更加全面准确的理解(Van Meter, 2001; Van Meter & Firetto, 2013)。目前的研究中仅有 5 项报告了自我生成绘图和自我监控能力之间的关系，4 项发现自我生成绘图提高了学习者的监控能力。例如，Zhang 和 Linn(2013)的研究表明学生在进行绘图的过程中会产生更多的自我监控事件，比如，自我提问和回顾前文。Schleinschok 等人(2017)使用学习判断(judgment of learning, JOL)对学生监控的准确性进行测量，发现自我生成绘图组与控制组相比有更高的监控准确性。

操纵自我生成绘图的一个重要目的是考察进行绘图和非绘图的学生在内部感知上是否存在差异。这种主观评定的测量方法直接了解到学习者的感受，从而间接地推断出学习效果，具有简便性，高效率等优点，但是也存在一些不足。比如，无论是认知负荷的测量还是对学习者情感状态的评定，都是基于学习者的主观感受。学习者在报告自己的心理努力、感知难度和喜爱程度时，可能与真实的体验存在偏差。所以，未来的研究可以加入一些生理性的指标，把主观评定与客观的测量结合起来更好地了解学习者的内在感受。另外，综述发现，45 项实证研究中仅仅 13(29%)篇对学习者在学习过程中的心理活动进行了测量，而且测量指标也比较单一，未来的研究可以加入对心智游移(mind wandering, MW)(Wilson et al., 2018)、延迟 JOL (delayed JOL)(谢和平，王福兴，王玉鑫，安婧，2016)

等的测量，更加深入地了解学习者在自我生成绘图过程中的投入程度及元认知加工等。

5 总结与展望

5.1 总结

通过整理研究者们对自我生成绘图策略的研究，结果发现自我生成绘图对学习者外部的学习效果和内部的主观感知都有一定的影响。在学习效果上，绘图建构理论和多媒体学习认知理论认为学习者在绘图的过程中能够积极主动地对文本信息进行选择，组织和整合，并进行生成性加工，从而提高学习成绩。然而，也有研究不支持自我生成绘图策略，这与认知负荷理论的预期相一致(见图 1)，即学生在根据文本内容进行绘图的过程中增加了外在认知负荷，降低了学习效果。但整体而言，自我生成绘图策略对学习是有益的($d_{保持}$ = 0.13, $d_{理解}$ = 0.46, $d_{迁移}$ = 0.38)。在保持测验上的效应量小于 0.2，属于较小的效应量；但是在理解和迁移测试上的效应量在 0.5 左右，属于中等的效应量。所以，文章开头提到的例子中，使用了自我生成绘图策略的学生 A 在后测成绩上应该要优于学生 B。研究中存在不一致的结论，可能是存在许多潜在的边界条件。例如，是否提供支持、学习时间的长短、学习者的知识经验等。在主观感知上，学习者进行绘图时，必须关注绘图这一机械的操作过程，可能会增加外部认知负荷，减少用于加工关键信息的认知资源，导致学习效果降低。另一方面，自我生成绘图可以增强学习者的自我监控能力，提高学习者的情感状态，增加学习的投入度，帮助学习者对学习内容的结构和关系形成更清晰的认识，积极影响学习者的主观感受，从而促进学习。

5.2 展望

自我生成绘图无论是对个体的学习还是对于教育教学方式的改进都有很大的借鉴作用，但是也面临着很多问题，比如潜在变量、材料操纵、实验方法等，还需要不断的完善。目前对自我生成绘图策略的研究还存在很大的探究空间，未来的研究可以从以下几个方面展开：

第一，关注影响自我生成绘图的边界条件，优化自我生成绘图策略。前文提出了自我生成绘图的效果受到很多潜在变量的影响，比如，提供支持(Lee, 2017)、测验形式(Van Meter et al., 2006)、先验知识(Leutner et al., 2009)等，但是除此之外，目前为止还有很多没有涉及到的变量，学生的学习动机、兴趣、认知方式、绘图技能、学习材料的难度、元认知提示等潜在的影响因素也需要不断的探究分析。需要特别注意的是，许多对绘图策略的研究只集中在纸笔的绘图过程上，目前只有少量的研究让学生采用平板等电子设备进行绘图来检验自我生成绘图的效果(Lehtinen & Viiri, 2014)。但是随着触屏媒体、电脑等设备在生活和教育中的不断应用，未来的研究也可以比较平板绘图与纸质绘图、电脑绘图等不同的绘图媒介之间的差别。一项研究结果已经表明，与那些不需要自己制作图片的学生相比，在电脑上生成图片的学生需要付出更多的努力和学习时间(Schwamborn et al., 2011)，这表明自我生成绘图策略起作用似乎和媒体的使用是有关的，在电脑上进行绘图，学生需要更多的动手操作，造成了额外的认知负荷。所以，未来的研究可以通过增加培训或者优化绘图工具来降低电脑绘图的认知负荷，在多媒体学习的教学环境下，更好地应用自我生成绘图策略。

第二，把自我生成绘图策略与计算机与网络学习相结合。随着多媒体教学的普及，学生不仅要学习课本上静止的内容，还要学习反应视觉空间关系的动态内容。然而，在学习动态内容时，学习者很容易只是提取显著的信息，而忽视一些虽然微弱但是相关的信息，那么，绘图是不是就有可能帮助学习者提取概念上相关的信息，从而提高对动画学习的效果呢？已经有研究表明加入绘图策略能够使学习者系统全面地感知和处理动态的内容(Mason et al., 2013)，然而，也有研究结果显示在动画中采用自我生成绘图策略并没有达到在文本材料中应用的效果(Slominski et al., 2017)。那么，是不是动画呈现的步调(王福兴，谢和平，李卉，2016)、播放速度(钱莹莹，王福兴，段朝辉，周宗奎，2016)、动画内容等因素会影响绘图效果呢？是否在动画学习中加入线索(提示条件)(王福兴，段朝辉，周宗

奎，陈珺, 2015)能帮助学生进行绘图？还需要不断的检验。

第三，用更加生态化的方式对自我生成绘图的效果进行测量。目前的研究主要是对主观体验、学习效果的即时测量，这不符合正常的教学环境。在真实的学校教学中，一般是在学生对相关内容学习结束后的几天或者几周进行测验，所以，以后的研究不仅要测量绘图产生的即时效果，还要加强对延迟测验成绩的关注 (Mason et al., 2013)。另外，在对绘图质量进行测量时, Van Meter(2001)根据学生自我生成绘图中所包含的系统性和结构性知识的数量和复杂性对绘图的质量进行分类。然而有研究使用了与绘图成绩相同的评分指标(Schleinschok et al., 2017)，这就导致绘图质量与学习成绩混淆不清，选择更客观的评价标准对绘图质量进行测量是后续研究的潜在关注点。通过梳理以往的研究发现，大多数研究者的关注点放在了自我生成绘图对学习效果(保持测验、理解和迁移测验)的研究上，而忽略了学习者在绘图过程的心理体验，未来的研究中可以整合外部的学习效果与内部的主观感知，以更加全面地了解自我生成绘图的价值。

第四，分析自我生成绘图策略对特殊学生群体学习的影响。目前很多研究主要关注自我生成绘图对正常学生的影响，结果倾向于支持绘图策略对学习效果的促进作用。然而，很少有研究者对自我生成绘图如何影响阅读障碍学生的学习进行考察。那么是否自我生成绘图对阅读障碍儿童的学习也能产生影响？目前仅有 1 项研究证明了自我生成绘图对正字法障碍的儿童是有效的，但是对于双向障碍(发音困难和正字法障碍)的儿童效果则很微弱(Wang, Yang, Tasi, & Chan, 2013)。该结果是否稳定还需要不断检验。未来的研究不仅要研究自我生成绘图对不同类型阅读障碍学生的影响，还要考虑在其他孩子(自闭症儿童，学习困难儿童，注意力缺陷多动症儿童等)中应用自我生成绘图策略是否能够帮助他们更好地学习。

第五，考察自我生成绘图策略的行为规律和神经基础。眼动跟踪是一种通过记录学生的眼球运动来追踪他们学习过程的方法，这种方法假设眼睛所专注的是大脑正在处理的信息(王福兴，段朝辉，周宗奎，陈珺, 2015; Van Gog & Scheiter, 2010)。采用眼动过程中的指标，如注视点，注视时间等可以了解学习者进行认知加工瞬时的信息。另外，教育心理学领域也大量应用近红外光谱脑成像(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)等技术来研究各种教育心理学的现象(Brucker, Ehlis, Häußinger, Fallgatter, & Gerjets, 2015)，为教育神经科学的发展提供了契机。学生在绘图过程中产生的认知负荷、自我监控事件等，都有可能通过眼动数据或者大脑皮层的变化表现出来。为了深入了解自我生成绘图过程的认知机制，仅仅通过传统的测验形式还存在一定的缺陷，目前已有一篇研究把眼动技术应用到了自我生成绘图的研究中(Lin et al., 2017)，未来的研究应该借鉴此研究的方法，用新的技术来探讨自我生成绘图策略对学习效果的影响机制。

参考文献

钱莹莹，王福兴，段朝辉，周宗奎. (2016). 动画速度和学习者经验对多媒体学习的影响. *心理发展与教育*, *32*(2), 191–197.

谢和平，王福兴，王玉鑫，安婧. (2016). 越难读意味着学得越好？学习过程中的不流畅效应. *心理科学进展*, *24*(7), 1077–1090.

王福兴，段朝辉，周宗奎. (2013). 线索在多媒体学习中的作用. *心理科学进展*, *21*(8), 1430–1440.

王福兴，段朝辉，周宗奎，陈珺. (2015). 邻近效应对多媒体学习中图文整合的影响：线索的作用. *心理学报*, *47*(2), 224–233.

王福兴，谢和平，李卉. (2016). 视觉单通道还是视听双通道?——通道效应的元分析. *心理科学进展*, *24*(3), 335–350.

Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science Education*, *333*(6046), 1096–

1097.

Alesandrini, K. L. (1981). Pictorial-verbal and analytic-holistic learning strategies in science learning. Journal of Educational Psychology, 73(3), 358–368.

Balemans, M. C. M., Kooloos, J. G. M., Donders, A. R. T., & Van der Zee, C. E. E. M. (2016). Actual drawing of histological images improves knowledge retention. *Anatomical Sciences Education, 9*(1), 60–70.

Baars, M., Visser, S., Van Gog, T., De Bruin, A., & Paas, F. (2013). Completion of partially worked-out examples as a generation strategy for improving monitoring accuracy. *Contemporary Educational Psychology, 38*(4), 395–406.

Bock, D. D., Verschaffel, L., & Janssens, D. (1998). The predominance of the linear model in secondary school students' solutions of word problems involving length and area of similar plane figures. *Educational Studies in Mathematics, 35*(1), 65-83.

Bransford, J. D., Brown, A., & Cocking, R. (2000). How people learn (Expanded ed.). *Washington, DC: National Academy*.

Brucker, B., Ehlis, A. C., Häußinger, F. B., Fallgatter, A. J., & Gerjets, P. (2015). Watching corresponding gestures facilitates learning with animations by activating human mirror-neurons: An fNIRS study. *Learning and Instruction, 36*, 27–37.

Carney, R. N., & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review, 14*(1), 5–26.

Csíkos, C., Szitányi, J., & Kelemen, R. (2011). The effects of using drawings in developing young children’s mathematical word problem solving: A design experiment with third-grade Hungarian students. *Educational Studies in Mathematics, 81*(1), 47–65.

Dean, R. S., & Kulhavey, R. W. (1981). Influence of spatial organization in prose learning. *Journal of Educational Psychology, 73*(1), 57–64.

Edens, K. M., & Potter, E. (2003). Using descriptive drawings as a conceptual change strategy in elementary science. *School Science and Mathematics, 103*(3),135–144.

Gan, Y. (2008). *Drawing out ideas: Student-generated drawings' roles in supporting understanding of "light"* (Unpublished doctorial dissertation). University of Toronto.

Gobert, J. D., & Clement, J. J. (1999). Effects of student-generated diagrams versus student-generated summaries on conceptual understanding of causaland dynamic knowledge in plate tectonics. *Journal of Research in Science Teaching, 36*(1), 39–53.

Greene, T. R. (1989). Children's understanding of class inclusion hierarchies: The relationship between external representation and task performance. *Journal of Experimental Child Psychology, 48*, 62-89.

Hall, V. C., Bailey, J., & Tillman, C. (1997). Can student-generated illustrations be worth ten thousand words. *Journal of Educational Psychology, 89*(4), 677–681.

Imhof, B., Scheiter, K., Edelmann, J., & Gerjets, P. (2012). How temporal and spatial aspects of presenting visualizations affect learning about locomotion patterns. *Learning and Instruction, 22*(3), 193–205.

Lee, D. L. (2017). Effectiveness of learner-gennerated drawing in biology comprehension. (Unpublished doctorial dissertation). Pennsylvania State University.

Lehtinen, A., & Viiri, J. (2014). Using tablets as tools for learner-generated drawings in the context of teaching the kinetic theory of gases. *Physics Education, 49*(3), 344–348.

Leopold, C., & Leutner, D. (2012). Science text comprehension: Drawing, main idea selection, and summarizing as learning strategies. *Learning and Instruction, 22*(1), 16–26.

Leopold, C., Sumfleth, E., & Leutner, D. (2013). Learning with summaries: Effects of representation mode and type of learning activity on comprehension and transfer. *Learning and Instruction, 27*, 40-49.

Lesgold, A. M., De Good, H., & Levin, J. R. (1977). Pictures and young children's prose learning: A supplementary report. *Journal of Reading Behavior*. *9*(4), 353–360.

Lesgold, A. M., Levin, G. R., Shimron, J., & Guttman, J. (1975). Pictures and young children's learning from oral prose. *Journal of Educational Psychology*. *67*(5), 636–642.

Leutner, D., Leopold, C., & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior, 25*(2), 284–289.

Leutner, D., & Schmeck, A. (2014). The generative drawing principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 433–463). New York: Cambridge University.

Liao, C. Y., Lee, Y. C., & Chan, T. W. (2013). Buliding a self-generated drawing enviornment to improve children's performance in writing and storyleaning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 8*(3), 449–464.

Lin, L., Lee, C. H., Kalyuga, S., Wang, Y., Guan, S., & Wu, H. (2017). The effect of learner-generated drawing and imagination in comprehending a science text. *The Journal of Experimental Education, 85*(1), 142–154.

Mason, L., Lowe, R., & Tornatora, M. C. (2013). Self-generated drawings for supporting comprehension of a complex animation. *Contemporary Educational Psychology, 38*(3), 211–224.

Mayer, R. E. (1993). Illustrations that instruct. *Advances in instructional psychology, 4*, 253-284.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed). New York: Cambridge University Press.

Mayer, R. E. (2010). Unique contributions of eye-tracking research to the study of learning with graphics. *Learning and Instruction, 20*(2), 167–171.

Ploetzner, R., & Fillisch, B. (2017). Not the silver bullet: Learner-generated drawings make it difficult to understand broader spatiotemporal structures in complex animations. *Learning and Instruction, 47*, 13–24.

Quillin, K., & Thomas, S. (2015). Drawing-to-learn: a framework for using drawings to promote model-based reasoning in biology. *CBE- Life Sciences Education, 14*(1),1–16.

Rellensmann, J., Schukajlow, S., & Leopold, C. (2016). Make a drawing. Effects of strategic knowledge, drawing accuracy, and type of drawing on students' mathematical modelling performance. *Educational Studies in Mathematics, 95*(1), 53–78.

Scheiter, K., Schleinschok, k., & Ainsworth, S. (2017). Why sketching may aid learning from science texts: Contrasting sketching with written explanations. *Topics in Cognitive Science, 9*, 866–882.

Schleinschok, K., Eitel, A., & Scheiter, K. (2017). Do drawing tasks improve monitoring and control during learning from text? *Learning and Instruction, 51*, 10–25.

Schmeck, A., Mayer, R. E., Opfermann, M., Pfeiffer, V., & Leutner, D. (2014). Drawing pictures during learning from scientific text: Testing the generative drawing effect and the prognostic drawing effect. *Contemporary Educational Psychology, 39*(4), 275–286.

Schmidgall, S. P., Eitel, A., & Scheiter, K. (in press). Why do learners who draw perform well? Investigating the role of visualization, generation and externalization in learner-generated drawing. *Learning and Instruction*.

Schwamborn, A., Mayer, R. E., Thillmann, H., Leopold, C., & Leutner, D. (2010). Drawing as a generative activity and drawing as a prognostic activity. *Journal of Educational Psychology, 102*(4), 872–879.

Schwamborn, A., Thillmann, H., Opfermann, M.,& Leutner, D. (2011). Cognitive load and instructionally supported learning with provided and learner-generated visualizations. *Computers in Human Behavior, 27*(1), 89–93.

Slominski, T. N., Momsen, J. L., & Montplaisir, L. M. (2017). Drawing on student knowledge of neuroanatomy and neurophysiology. *Advances in Physiology Education, 41*(2), 212–221.

Snowman, J., & Cunningham, D, J. (1975). A comparison of pictorial and written adjunct aids in learning from text. *Journal of Educational Psychology, 67*(2), 307.

Stagg, B. C., & Verde, M. F. (2018). A comparison of descriptive writing and drawing of plants for the development of adult novices' botanical knowledge. *Journal of Biological Education*, *52*, 1–16.

Stull, A. T., & Mayer, R. E. (2007). Learning by doing versus learning by viewing :Three experimental comparisons of learner-generated versus author-provided graphic organizers. *Journal of Educational Psychology, 99*(4), 808–820.

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory.* New York: Springer Science & Business Media.

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C.(1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*(3), 251–296.

Van Essen, G., & Hamaker, C. (1990). Using self-generated drawings to solve arithmetic word problem. *The Journal of Educational Reasearch*, *83*(6), 301–312.

Van Gog, T., & Scheiter, K. (2010). Eye tracking as a tool to study and enhance multimedia learning. *Learning and Instruction, 20*(2), 95–99.

Van Meter, P., & Firetto, C. M. (2013). Cognitive model of drawing construction. Learning through the construction of drawings. In G. J. Schraw, M. T. McCrudden, & D. R. Robinson (Eds.). *Learning through visual displays* (pp. 247–380). Charlotte, N.C.: Information Age Publishing.

Van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. *Journal of Educational Psychology, 93*(1), 129–140.

Van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A., & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology, 31*(2), 142–166.

Van Meter, P., & Garner, J. (2005). The Promise and practice of learner-generated drawing: Literature review and synthesis. *Educational Psychology Review, 17*(4), 285–325.

Wammes, J. D., Meade, M. E., & Fernandes, M. A. (2016). The drawing effect: Evidence for reliable and robust memory benefits in free recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 69*(9), 1752–1776.

Wang, L. C., Yang, H. M., Tasi, H. J., & Chan, S. Y. (2013). Learner-generated drawing for phonological and orthographic dyslexic readers. *Research in Developmental Disabilities, 34*(1), 228–233.

Wilson, K. E., Martinez, M., Mills, C., D'Mello, S., Smilek, D., & Risko, E. F. (2018). Instructor presence effect: Liking does not always lead to learning. *Computers & Education.*122, 205–220.

Xie, H., Wang, F., Hao, Y., Chen, J., An, J., Wang, Y., & Liu, H. (2017). The more cognitive load is reduced by cues, the better retention and transfer of multimedia learning: A meta-analysis and two meta-regression analyses. *PLoS ONE, 12*(8), e0183884.

Zhang, H. Z. (2010, June). Exploring drawing and critique to enhance learning from visualizations. presented at the International Conference of the Learning Sciences, Chicago, Illinois.

Zhang, H. Z., & Linn, M. C. (2011). Can generating representations enhance learning with dynamic visualizations? *Journal of Research in Science Teaching, 48*(10), 1177–1198.

Zhang, H. Z., & Linn, M. C. (2013). Learning from chemical visualizations: comparing generation and selection. *International Journal of Science Education, 35*(13), 2174–2197.

A picture is worth a thousand words: Self-generation drawing for multimedia learning

WANG Yanqing; WANG Fuxing; XIE Heping; CHEN Jiaxue; LI Wenjing; HU Xiangen

(School of Psychology, Central China Normal University, Wuhan 430079)

Abstract: Self-generated drawing is a learning strategy in which learners rely on a written text to construct representational drawings that correspond to the main elements and relations described in each portion of the text. Previous studies have examined the role of self-generated drawing in learning by manipulating text, animation and other learning materials. However, it remained various mixed results of the effects of self-generated drawing. From the perspectives of generative theory of drawing construction (GTDC) and cognitive theory of multimedia learning (CTML), self-generated drawing can improve students' cognitive and metacognitive abilities, stimulate the positive emotional state and result in better retention or comprehension. In addition, cognitive load theory (CLT) might predict the opposite result of learning for the reason that drawing brings about an increase of extraneous cognitive load. In general, the self-generated mapping strategy is conducive to learning, the median effect sizes are $d_{\text{retention}} = 0.13$, $d_{comprehension} = 0.46$, $d_{transfer} = 0.38$. The inconsistent results may be explained by the existence of potential boundary conditions, such as support, test methods, and prior knowledge, to name a few. Future studies should focus on the moderating effects of material manipulation, effectiveness evaluation, and other variables.
Key words: self-generated drawing; generation theory of drawing construction; cognitive theory of multimedia learning; cognitive load theory; multimedia learning